

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Кумертауский филиал  
федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»  
(Кумертауский филиал ОГУ)

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

В.И. Андросов

## Методические указания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Рекомендовано к изданию Научно-методическим советом  
Кумертауского филиала ОГУ

Кумертау  
2019

УДК  
ББК  
С

**Андросов В.И.**

С           Методические указания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники» / В.И. Андросов; Кумертауский филиал ОГУ – Кумертау: Кумертауский филиал ОГУ, 2019. – 34 с.

Методические указания предназначены для выполнения контрольной работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники» для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры ЭПП протокол № \_\_\_\_\_ «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

Методические указания рекомендованы к изданию решением научно-методического совета Кумертауского филиала ОГУ, протокол № \_\_\_\_\_ , от «    »                   2019г.

© Андросов В.И., 2019

© Кумертауский филиал ОГУ, 2019

## Содержание

Введение.....	4
1. Содержание контрольной работы и порядок её выполнения.....	5
2. Пример расчета контрольной работы .....	15
Литература .....	34

## Введение

Дисциплина «Теоретические основы электротехники» изучается студентами очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения.

Цель дисциплины – овладение теоретической базой для анализа линейных и нелинейных электрических и магнитных цепей.

### **Задачи освоения дисциплины:**

- *познакомить* с основными законами электростатики и электродинамики применительно к электрическим и магнитным цепям;
- *познакомить* с основами постановки и решения исследовательских задач, проведения лабораторных экспериментов на реальном физическом и виртуальном оборудовании по теории электрических цепей и электромагнитного поля;
- *научить* методам расчета переходных и установившихся процессов в линейных и нелинейных электрических и магнитных цепях.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

### **Знать:**

- теоретические основы электротехники;
- основные понятия и законы электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей;
- методы анализа цепей постоянного и переменного токов в стационарных и переходных режимах.

### **Уметь:**

- использовать законы и методы расчета электромагнитного поля, электрических, магнитных цепей.

### **Владеть:**

- методами расчета переходных и установившихся процессов в линейных и нелинейных электрических цепях;
- навыками проведения лабораторных экспериментов по теории электрических цепей и электромагнитного поля.

### **Приобрести опыт деятельности:**

- в составлении структурных моделей (схем замещения) магнитных, электрических, электронных и электромагнитных цепей; проведения исследовательской работы (анализ, синтез, диагностика электрических цепей).

Настоящие методические указания составлены для оказания помощи при организации самостоятельной работы и выполнении контрольной работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники». Пояснительная записка оформляется студентами согласно требованиям стандарта организации СТО 02069024.101-2015 и сдается преподавателю в конце семестра.

# 1. Содержание контрольной работы и порядок её выполнения

Задание на контрольную работу состоит из двух частей: расчёта электрических цепей постоянного и переменного тока.

## ЗАДАНИЕ №1 РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

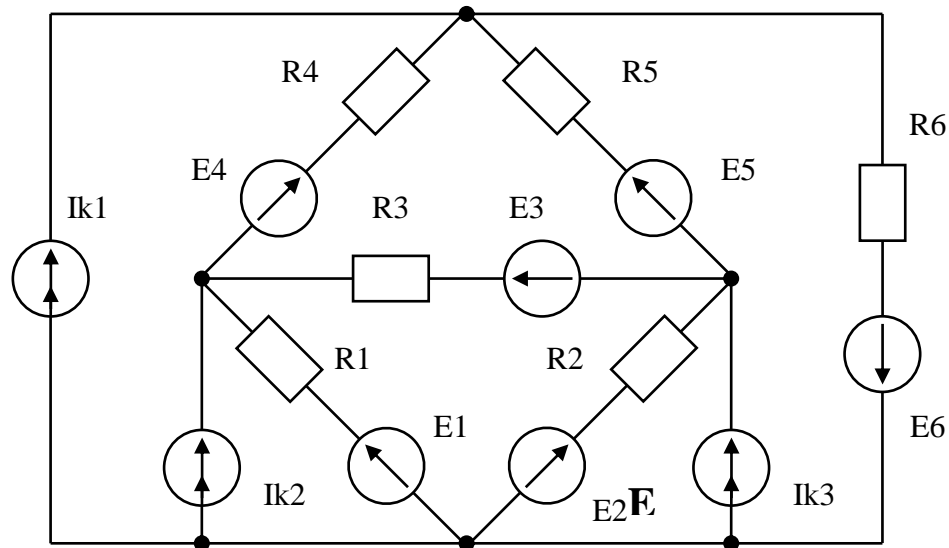


Рисунок 1 - исходная схема электрической цепи

Индивидуальные численные значения номиналов элементов электрической цепи приведены в таблице 1. Все сопротивления заданы в Омах, ЭДС - в В, источник тока в А. По исходной схеме электрической цепи и индивидуальным численным значениям номиналов элементов электрической цепи сформируйте свою расчетную схему. Для этого участок цепи, где величина источника ЭДС приравнена к нулю, закоротите, а участок цепи, где величина источника тока приравнена к нулю, разомкните.

### Задание

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для определения токов во всех ветвях расчетной схемы.
2. Определить токи во всех ветвях методом контурных токов.
3. Определить токи во всех ветвях схемы, методом узловых напряжений, приняв потенциал четвертого узла равным нулю.
4. Результаты расчета токов, проведенного двумя методами, свести в таблицу и сравнить между собой. Произвести проверку расчета токов по закону Кирхгофа.
5. Составить баланс мощностей в расчетной схеме, вычислив отдельно суммарную мощность источников электрической энергии и суммарную мощность нагрузок.
6. Начертить в масштабе потенциальную диаграмму для любого контура, включающего в себя две ЭДС.

Таблица 1. Численные значения ЭДС и источников тока, номиналы нагрузок

Вариант	R1	R2	R3	R4	R5	R6	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Ik1	Ik2	Ik3
1	20	50	10	70	20	50	30	150	0	0	0	0	-3	0	0
2	20	70	90	20	30	60	30	0	-20	0	0	0	0	-8	0
3	50	40	20	50	30	90	240	0	0	30	0	0	0	0	-5
4	70	40	60	90	30	20	-60	0	0	0	90	0	-1	0	0
5	70	90	60	40	50	90	-20	0	0	0	0	120	0	1	0
6	70	10	60	90	50	90	0	-10	-90	0	0	0	0	0	7
7	80	60	70	80	70	30	0	60	0	-30	0	0	4	0	0
8	70	50	30	70	20	80	0	150	0	0	210	0	0	-4	0
9	60	10	40	40	40	50	0	-20	0	0	0	240	0	0	-8
10	50	60	90	30	30	70	0	0	-20	-10	0	0	-9	0	0
11	90	70	80	20	80	40	0	0	-20	0	180	0	0	2	0
12	70	80	50	70	10	90	0	0	90	0	0	-60	0	0	7
13	60	60	70	30	10	30	0	0	0	210	-50	0	7	0	0
14	90	20	70	90	40	80	0	0	0	-10	0	-40	0	-5	0
15	70	10	20	20	90	30	0	0	0	0	120	90	0	0	3
16	50	30	10	30	40	20	120	120	0	0	0	0	-4	0	0
17	50	50	20	50	30	30	90	0	-70	0	0	0	0	-2	0
18	10	50	20	30	90	90	60	0	0	-80	0	0	0	0	8
19	10	10	10	60	80	70	120	0	0	0	-30	0	6	0	0
20	80	80	30	30	70	40	-20	0	0	0	0	-40	0	-8	0
21	50	10	50	40	20	80	0	180	-60	0	0	0	0	0	6
22	60	10	70	60	30	80	0	210	0	90	0	0	-2	0	0
23	90	40	40	50	60	50	0	30	0	0	-90	0	0	-7	0
24	70	90	80	40	70	10	0	60	0	0	0	120	0	0	-3
25	10	30	30	10	40	40	0	0	40	-70	0	0	-9	0	0
26	80	40	10	50	60	60	0	0	90	0	-60	0	0	4	0
27	80	50	90	70	60	40	0	0	-80	0	0	30	0	0	1
28	50	70	80	10	90	70	0	0	0	60	-70	0	-9	0	0
29	20	90	40	30	90	50	0	0	0	-70	0	210	0	-4	0
30	60	50	20	10	30	50	0	0	0	0	-40	-30	0	0	2
31	20	50	10	70	20	50	30	150	0	0	0	0	-3	0	0
32	20	70	90	20	30	60	30	0	-20	0	0	0	0	-8	0
33	50	40	20	50	30	90	240	0	0	30	0	0	0	0	-5
34	70	40	60	90	30	20	-60	0	0	0	90	0	-1	0	0
35	70	90	60	40	50	90	-10	0	0	0	0	120	0	1	0

36	70	10	60	90	50	90	0	-50	-90	0	0	0	0	0	7
37	80	60	70	80	70	30	0	60	0	-30	0	0	4	0	0
38	70	50	30	70	20	80	0	150	0	0	210	0	0	-4	0
39	60	10	40	40	40	50	0	-20	0	0	0	240	0	0	-8
40	50	60	90	30	30	70	0	0	-40	-50	0	0	-9	0	0
41	90	70	80	20	80	40	0	0	-20	0	180	0	0	2	0
42	70	80	50	70	10	90	0	0	90	0	0	-60	0	0	7
43	60	60	70	30	10	30	0	0	0	210	-50	0	7	0	0
44	90	20	70	90	40	80	0	0	0	-80	0	-40	0	-5	0
45	70	10	20	20	90	30	0	0	0	0	120	90	0	0	3
46	50	30	10	30	40	20	120	120	0	0	0	0	-4	0	0
47	50	50	20	50	30	30	90	0	-70	0	0	0	0	-2	0
48	10	50	20	30	90	90	60	0	0	-80	0	0	0	0	8
49	10	10	10	60	80	70	120	0	0	0	-30	0	6	0	0
50	80	80	30	30	70	40	-10	0	0	0	0	-40	0	-8	0
51	50	10	50	40	20	80	0	180	-60	0	0	0	0	0	6
52	60	10	70	60	30	80	0	210	0	90	0	0	-2	0	0
53	90	40	40	50	60	50	0	30	0	0	-90	0	0	-7	0
54	70	90	80	40	70	10	0	60	0	0	0	120	0	0	-3
55	10	30	30	10	40	40	0	0	40	-70	0	0	-9	0	0
56	80	40	10	50	60	60	0	0	90	0	-60	0	0	4	0
57	80	50	90	70	60	40	0	0	-80	0	0	30	0	0	1
58	50	70	80	10	90	70	0	0	0	60	-70	0	-9	0	0
59	20	90	40	30	90	50	0	0	0	-70	0	210	0	-4	0
60	60	50	20	10	30	50	0	0	0	0	-40	-30	0	0	2
61	30	70	30	80	20	90	-20	40	0	0	0	0	6	0	0
62	90	30	80	20	70	80	-70	0	-30	0	0	0	0	4	0
63	10	70	20	70	90	40	240	0	0	120	0	0	0	0	9
64	30	80	60	20	70	10	270	0	0	0	30	0	8	0	0
65	80	10	60	70	60	90	-80	0	0	0	0	-70	0	-6	0
66	20	90	70	30	60	40	0	-20	-40	0	0	0	0	0	-6
67	10	50	40	80	20	80	0	150	0	-40	0	0	-7	0	0
68	10	90	50	20	40	40	0	270	0	0	-80	0	0	-1	0
69	90	70	20	10	40	70	0	-80	0	0	0	240	0	0	-6
70	10	30	60	60	90	30	0	0	-10	-20	0	0	3	0	0
71	20	90	60	40	30	90	0	0	30	0	210	0	0	-2	0
72	50	10	70	70	20	70	0	0	210	0	0	-20	0	0	8
73	40	50	70	40	90	30	0	0	0	-60	-40	0	9	0	0
74	80	20	20	30	80	50	0	0	0	-80	0	270	0	2	0

75	80	60	40	10	30	90	0	0	0	0	-70	150	0	0	-7
76	30	50	10	80	90	60	-20	240	0	0	0	0	3	0	0
77	80	90	70	60	10	40	-70	0	120	0	0	0	0	8	0
78	90	40	30	30	10	70	-30	0	0	90	0	0	0	0	-3
79	90	10	30	70	60	50	210	0	0	0	180	0	-4	0	0
80	20	10	50	60	70	80	180	0	0	0	0	240	0	-7	0
81	70	10	80	10	70	50	0	-90	270	0	0	0	0	0	-9
82	70	50	40	20	80	60	0	-40	0	-20	0	0	6	0	0
83	80	30	10	60	30	30	0	-80	0	0	-60	0	0	-4	0
84	70	10	10	80	20	50	0	-50	0	0	0	-90	0	0	-3
85	30	20	60	20	70	30	0	0	-90	150	0	0	-3	0	0
86	40	10	90	20	50	70	0	0	-30	0	-50	0	0	8	0
87	60	40	60	40	10	40	0	0	180	0	0	240	0	0	-6
88	50	80	10	40	40	20	0	0	0	-60	210	0	6	0	0
89	90	60	30	30	20	70	0	0	0	-30	0	60	0	9	0
90	60	40	70	10	60	30	0	0	0	0	30	120	0	0	3
91	60	80	40	30	90	90	120	240	0	0	0	0	4	0	0
92	90	80	80	60	10	40	140	0	-60	0	0	0	0	-8	0
93	20	80	40	90	30	50	-70	0	0	30	0	0	0	0	2
94	20	60	80	20	90	50	210	0	0	0	-10	0	-8	0	0
95	90	30	70	60	60	50	-30	0	0	0	0	-80	0	-9	0
96	40	10	40	60	40	90	0	180	90	0	0	0	0	0	2
97	20	50	70	80	40	40	0	60	0	60	0	0	-9	0	0
98	20	80	60	80	60	50	0	210	0	0	240	0	0	-3	0
99	60	30	20	70	20	90	0	120	0	0	0	-30	0	0	6
100	70	50	90	40	50	10	0	0	180	60	0	0	-3	0	0
101	50	90	80	60	20	60	0	0	210	0	270	0	0	-2	0
102	80	30	10	50	20	70	0	0	30	0	0	60	0	0	7
103	10	60	90	20	60	40	0	0	0	-70	180	0	4	0	0
104	90	60	10	70	90	60	0	0	0	240	0	270	0	1	0
105	10	40	30	20	70	10	0	0	0	0	-90	150	0	0	9
106	40	30	90	40	20	70	-10	210	0	0	0	0	-9	0	0
107	60	30	60	70	70	40	30	0	210	0	0	0	0	-1	0
108	60	80	10	20	60	80	120	0	0	180	0	0	0	0	4
109	90	20	70	30	40	50	210	0	0	0	150	0	-3	0	0
110	40	10	30	20	50	60	-50	0	0	0	0	150	0	0	0
111	80	50	30	20	60	20	0	-80	210	0	0	0	0	0	2
112	40	90	30	60	50	20	0	-20	0	60	0	0	-7	0	0
113	20	70	50	10	30	90	0	270	0	0	180	0	0	7	0



114	40	10	60	50	80	30	0	150	0	0	0	0	0	0	-2
115	90	10	20	70	30	50	0	0	-80	-70	0	0	-1	0	0
116	40	60	30	50	20	10	0	0	180	0	0	0	0	3	0
117	10	20	20	30	70	10	0	0	90	0	0	-70	0	0	8
118	60	60	80	40	80	60	0	0	0	0	120	0	5	0	0
119	80	60	80	20	60	90	0	0	0	150	0	210	0	0	0
120	20	70	80	40	60	10	0	0	0	0	30	180	0	0	-8
121	40	10	50	80	60	30	-70	210	0	0	0	0	3	0	0
122	20	60	50	60	60	10	-70	0	240	0	0	0	0	-7	0
123	30	30	80	20	10	80	-60	0	0	240	0	0	0	0	6
124	90	10	60	40	60	40	-20	0	0	0	60	0	-1	0	0
125	80	20	80	10	90	40	120	0	0	0	0	-80	0	-7	0
126	50	20	80	20	80	40	0	-20	-30	0	0	0	0	0	-7
127	20	90	30	90	60	80	0	-70	0	240	0	0	7	0	0
128	20	90	60	70	40	30	0	-60	0	0	-20	0	0	5	0
129	10	50	60	80	20	10	0	-80	0	0	0	-30	0	0	2
130	80	90	70	40	40	80	0	0	-20	120	0	0	-7	0	0
131	10	30	70	80	40	60	0	0	240	0	-30	0	0	6	0
132	90	70	60	30	10	80	0	0	270	0	0	-20	0	0	3
133	20	90	50	10	90	40	0	0	0	-30	90	0	-2	0	0
134	60	50	10	30	70	20	0	0	0	-10	0	120	0	6	0
135	10	60	40	50	60	40	0	0	0	0	-30	270	0	0	2
136	80	90	60	10	20	20	-90	270	0	0	0	0	6	0	0
137	90	70	70	90	50	40	90	0	-20	0	0	0	0	-4	0
138	10	20	50	90	30	70	-60	0	0	-20	0	0	0	0	-1
139	40	10	30	20	20	10	150	0	0	0	-10	0	8	0	0
140	60	40	30	30	10	60	150	0	0	0	0	-20	0	3	0
141	80	60	80	20	20	80	0	120	240	0	0	0	0	0	-5
142	30	60	90	80	10	70	0	270	0	-60	0	0	-5	0	0
143	10	90	60	60	70	20	0	120	0	0	-40	0	0	-6	0
144	50	80	30	60	80	90	0	150	0	0	0	-70	0	0	3
145	50	20	20	10	60	80	0	0	150	60	0	0	-6	0	0
146	10	30	40	90	30	70	0	0	-60	0	90	0	0	-9	0
147	20	90	70	50	20	90	0	0	30	0	0	-90	0	0	-9
148	60	60	30	10	10	80	0	0	0	180	-60	0	-4	0	0
149	80	90	90	30	50	90	0	0	0	30	0	-50	0	-4	0
150	10	30	70	40	40	60	0	0	0	0	-70	30	0	0	5

## ЗАДАНИЕ №2

### РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

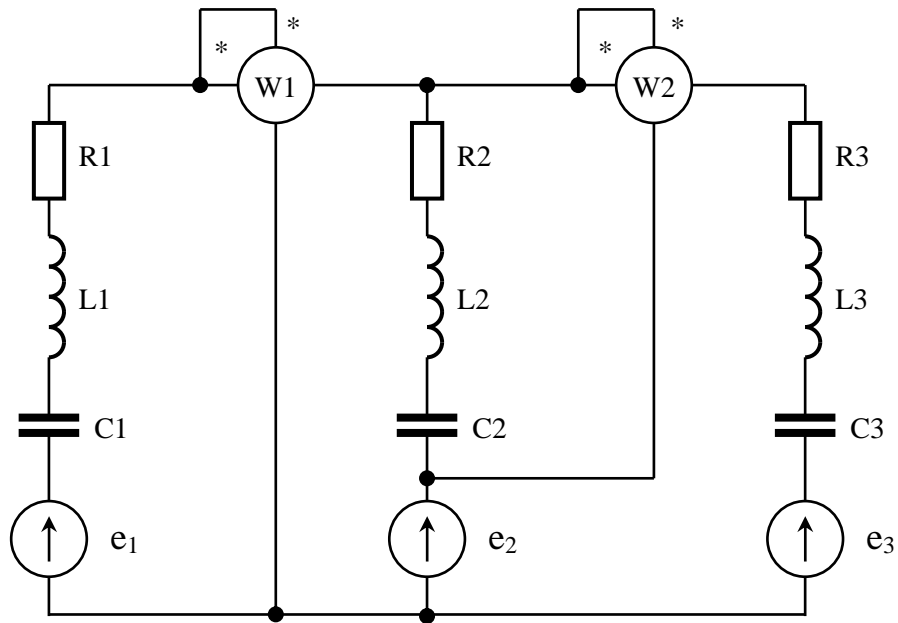


Рисунок 2 - исходная схема электрической цепи

Индивидуальные численные значения номиналов элементов электрической цепи приведены в таблице. Все сопротивления заданы в Омах, индуктивности в мГн, емкости - в мкФ, ЭДС - в В, фаза ЭДС - в градусах. Для всех вариантов частоту  $f$  принять равной 50 Гц. По исходной схеме электрической цепи и индивидуальным численным значениям номиналов элементов электрической цепи сформируйте свою расчетную схему. Если в индивидуальных численных значениях номиналов элементов электрической цепи указано нулевое значение, это означает, что данный элемент в расчетной схеме отсутствует.

#### Задание

1. Определить комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись одним из методов расчета линейных электрических цепей.
2. Определить показания ваттметров.
3. Составить баланс активных и реактивных мощностей.
4. Построить в масштабе топографическую диаграмму напряжений, совместив ее с векторной диаграммой токов.
5. Записать в общем виде уравнения Кирхгофа в дифференциальной и комплексной формах, полагая, что между двумя индуктивностями есть магнитная связь. (Если в схеме есть только одна ветвь с индуктивностью, то при выполнении этого пункта включить дополнительную индуктивность в любую другую ветвь).

Таблица 2. Численные значения ЭДС и номиналы нагрузок

Вар	R1	L1	C1	E1	φ1	R2	L2	C2	E2	φ2	R3	L3	C3	E3	φ3
1	53	7	26	0	0	15	0	13	135	301	0	85	58	0	331
2	0	30	36	280	94	38	42	90	0	0	0	64	35	51	259
3	0	73	76	304	240	14	59	48	93	237	99	35	0	0	0
4	0	97	47	88	30	22	77	2	0	0	0	11	45	100	32
5	54	0	74	0	0	20	0	13	145	211	58	80	86	260	301
6	40	49	0	149	318	38	0	49	0	0	33	95	81	313	214
7	84	0	34	127	212	0	83	9	180	313	31	1	55	0	0
8	38	98	0	8	192	17	0	65	0	0	8	11	33	221	172
9	98	84	52	0	0	87	0	83	170	308	14	8	0	13	298
10	11	0	77	165	354	3	54	60	0	0	44	89	73	69	42
11	33	3	0	11	142	32	57	14	196	40	0	50	73	0	0
12	43	0	48	77	307	1	51	67	0	0	74	3	14	321	149
13	4	37	0	0	0	93	0	19	137	227	61	7	83	97	262
14	50	11	0	44	195	33	64	10	0	0	2	48	89	3	321
15	89	63	71	25	306	0	68	1	114	238	19	93	13	0	0
16	25	88	0	224	106	98	65	49	0	0	11	97	10	290	105
17	45	57	40	0	0	25	0	15	330	113	0	73	42	43	150
18	0	94	68	302	10	40	86	60	0	0	80	6	77	127	136
19	25	26	28	265	315	0	55	0	294	290	25	87	67	0	0
20	0	82	98	88	289	92	16	64	0	0	78	64	35	357	181
21	92	81	90	0	0	56	0	5	171	249	0	82	78	89	173
22	0	20	31	30	198	44	49	0	0	0	0	57	1	98	210
23	0	70	6	217	65	47	56	35	315	347	79	52	0	0	0
24	0	32	22	44	96	83	41	15	0	0	0	13	49	135	319
25	48	0	38	0	0	47	0	74	238	108	88	21	31	276	123
26	83	7	0	116	321	80	0	45	0	0	88	38	3	62	143
27	81	0	27	139	178	0	94	43	122	278	39	35	36	0	0
28	38	39	0	132	137	62	0	76	0	0	88	4	36	30	248
29	48	87	42	0	0	92	0	65	336	162	0	75	0	50	354
30	31	0	97	231	221	33	39	91	0	0	0	80	37	57	122
31	76	20	0	230	264	93	88	85	352	341	0	21	51	0	0
32	53	0	84	253	342	11	76	0	0	0	95	56	58	142	194
33	55	99	0	0	0	42	0	98	69	163	39	62	0	82	138
34	19	92	0	232	261	70	38	17	0	0	56	70	72	322	343
35	69	15	18	349	102	0	13	47	55	249	93	57	69	0	0

36	63	11	0	302	305	67	11	96	0	0	27	1	76	287	42
37	98	21	76	0	0	77	0	5	136	189	0	24	83	0	32
38	0	35	36	109	173	23	16	62	0	0	28	44	30	109	180
39	48	42	45	326	44	0	26	0	35	257	67	16	87	0	0
40	0	93	64	77	62	87	0	28	0	0	79	29	94	98	34
41	31	78	59	0	0	89	0	79	65	89	0	36	96	269	244
42	0	40	97	337	23	97	11	20	0	0	0	86	12	201	65
43	0	32	32	57	28	98	86	55	292	83	52	60	0	0	0
44	0	59	33	178	17	96	55	9	0	0	0	79	5	211	42
45	33	0	92	0	0	27	0	1	229	34	64	2	94	311	338
46	14	75	0	55	353	48	0	66	0	0	46	83	40	160	169
47	14	0	10	298	80	0	86	73	203	260	84	32	65	0	0
48	64	12	0	161	206	85	0	90	0	0	24	36	52	341	42
49	69	23	39	0	0	22	0	89	257	144	94	96	0	233	196
50	69	0	5	213	282	68	68	89	0	0	25	0	22	55	37
51	93	14	0	14	183	76	69	96	268	349	0	11	86	0	0
52	80	0	42	331	53	30	20	10	0	0	93	75	32	92	134
53	93	87	0	0	0	43	0	97	73	252	78	93	13	348	103
54	40	17	0	5	181	18	10	22	0	0	50	61	71	55	244
55	53	88	51	245	274	0	58	72	344	289	14	26	3	0	0
56	52	35	0	19	279	44	41	33	0	0	8	59	84	35	58
57	92	10	48	0	0	58	0	58	282	258	0	5	31	199	211
58	0	23	26	274	303	33	17	82	0	0	18	38	18	291	184
59	54	45	38	119	167	0	51	0	262	104	56	16	0	0	0
60	0	68	87	256	40	24	80	28	0	0	76	18	80	80	181
61	21	84	16	0	0	64	0	12	20	109	0	75	84	113	259
62	0	7	20	70	169	52	16	90	0	0	0	95	55	197	346
63	0	94	5	156	244	28	29	21	341	120	96	35	0	0	0
64	0	40	71	145	142	0	56	74	0	0	0	21	17	214	17
65	80	0	40	0	0	86	0	14	199	180	41	85	68	256	202
66	4	16	0	217	228	18	0	58	0	0	74	16	42	288	206
67	37	0	97	52	71	0	6	19	76	256	40	51	21	0	0
68	21	83	0	249	264	67	0	65	0	0	5	53	1	42	109
69	26	10	20	0	0	43	0	6	38	67	9	94	0	276	50
70	30	0	36	130	124	4	60	25	0	0	97	58	87	200	261
71	41	80	0	152	74	66	2	29	15	266	0	68	33	0	0
72	16	0	23	239	118	36	6	77	0	0	72	73	18	257	314
73	46	90	0	0	0	46	0	95	197	226	18	42	51	303	147
74	23	44	0	327	222	69	33	34	0	0	89	24	13	214	261

75	24	29	68	119	230	0	27	74	111	312	50	16	87	0	0
76	70	37	0	57	123	69	80	77	0	0	29	9	64	94	349
77	74	75	81	0	0	24	0	24	165	137	0	86	80	88	152
78	0	90	75	112	336	46	91	44	0	0	75	45	29	343	49
79	60	7	88	61	143	0	17	0	71	317	22	39	68	0	0
80	0	16	87	49	217	6	91	37	0	0	42	85	63	279	123
81	57	13	50	0	0	58	0	26	271	177	0	25	99	120	112
82	0	13	61	149	149	68	35	28	0	0	0	8	31	184	317
83	0	48	1	112	275	21	92	8	109	356	1	76	0	0	0
84	0	13	26	2	193	53	72	45	0	0	0	27	88	34	342
85	18	0	59	0	0	56	0	57	81	15	46	25	64	209	249
86	30	35	0	106	163	35	0	96	0	0	69	58	11	230	164
87	14	0	83	264	356	0	73	25	214	210	84	54	54	0	0
88	63	90	0	333	125	46	0	94	0	0	2	91	6	49	79
89	31	41	56	0	0	97	0	86	359	304	87	2	0	95	260
90	35	0	21	63	269	79	61	12	0	0	25	64	90	182	220
91	47	58	0	284	89	32	68	14	156	348	0	60	10	0	0
92	23	0	39	253	149	92	81	51	0	0	44	45	41	303	210
93	69	72	0	0	0	36	0	23	32	108	69	83	5	53	48
94	54	81	0	314	136	7	90	83	0	0	36	70	79	25	30
95	88	25	81	248	202	0	25	70	264	311	64	14	5	0	0
96	47	65	0	337	262	58	28	91	0	0	68	84	0	101	338
97	13	98	26	0	0	70	0	47	302	72	0	86	73	109	24
98	0	87	30	188	27	28	56	13	0	0	93	57	25	251	27
99	72	34	20	46	199	0	66	0	338	21	35	27	96	0	0
100	0	73	90	29	35	4	26	31	0	0	72	38	50	63	168
101	82	83	2	0	0	71	0	59	31	122	0	56	87	346	119
102	0	12	71	154	160	29	64	41	0	0	0	79	59	181	75
103	0	93	97	296	285	98	61	73	100	121	14	51	0	0	0
104	0	37	51	138	183	29	61	49	0	0	0	83	19	83	238
105	86	0	28	0	0	84	0	67	359	210	22	79	23	191	215
106	47	86	0	189	67	42	0	4	0	0	1	21	35	27	355
107	99	0	33	36	120	0	43	37	202	311	39	92	71	0	0
108	33	19	0	1	217	34	0	20	0	0	83	88	84	41	118
109	62	62	36	0	0	96	0	38	300	243	43	25	0	229	199
110	97	0	48	208	248	6	41	38	0	0	85	47	30	238	21
111	94	53	0	320	162	97	24	70	165	42	0	65	1	0	0
112	86	0	26	307	163	82	51	12	0	0	31	71	86	6	343
113	27	58	0	0	0	10	0	55	63	73	79	16	2	253	313

114	71	33	0	211	274	63	37	15	0	0	98	71	33	270	151
115	49	97	59	351	269	0	73	49	277	353	45	65	37	0	0
116	69	21	0	40	261	98	19	3	0	0	34	3	40	224	153
117	80	49	29	0	0	55	0	65	245	318	0	99	84	172	212
118	0	19	22	76	257	10	1	93	0	0	12	13	17	94	273
119	64	43	22	258	44	0	32	0	27	250	61	21	83	0	0
120	0	4	82	226	171	27	82	10	0	0	53	66	23	12	59
121	1	45	68	0	0	30	0	81	238	155	0	71	62	355	123
122	0	80	54	5	132	68	0	50	0	0	0	62	51	82	111
123	0	17	38	60	60	77	0	59	341	219	1	16	0	0	0
124	38	43	25	0	0	20	0	12	272	247	0	88	28	317	187
125	46	0	58	0	0	40	0	68	183	155	28	63	84	351	182
126	38	37	0	133	99	88	0	59	0	0	94	72	17	114	110
127	32	0	43	55	124	0	54	46	142	247	65	50	0	0	0
128	0	43	57	308	359	10	13	67	0	0	34	0	19	30	254
129	58	91	0	0	0	17	0	96	172	285	89	22	0	242	44
130	29	0	31	344	151	33	70	49	0	0	0	77	56	56	343
131	30	46	0	238	93	79	20	26	162	96	0	0	25	0	0
132	91	0	90	201	110	0	15	0	254	51	36	37	97	0	0
133	8	50	0	0	0	50	0	42	122	228	69	43	65	345	210
134	19	62	0	94	335	28	27	55	0	0	94	0	47	39	181
135	53	0	14	286	211	0	20	72	122	187	17	27	98	0	0
136	95	10	70	0	0	52	0	77	279	171	0	24	43	60	317
137	0	24	29	2	97	60	24	60	0	0	0	72	26	342	261
138	0	23	36	14	17	89	73	23	28	108	63	59	0	0	0
139	48	38	14	0	0	73	20	58	220	236	90	48	0	111	314
140	0	0	33	0	0	11	0	12	321	242	27	42	39	61	288
141	18	20	0	321	176	35	0	25	0	0	46	72	65	178	164
142	96	0	24	129	78	0	83	12	125	359	57	12	46	0	0
143	57	49	31	0	0	64	0	83	338	63	84	5	87	138	19
144	73	34	9	0	0	31	0	18	348	114	46	99	0	72	2
145	29	0	29	116	143	64	74	34	0	0	59	34	66	338	281
146	91	44	0	306	44	28	66	50	320	260	0	19	49	0	0
147	94	60	0	333	350	80	45	82	0	0	0	29	76	255	350
148	62	86	0	0	0	34	0	30	112	277	86	54	62	59	113
149	76	58	0	17	172	79	94	54	0	0	27	94	46	215	51
150	86	18	75	238	231	0	57	53	152	285	93	28	63	0	0

## 2. Пример выполнения контрольной работы

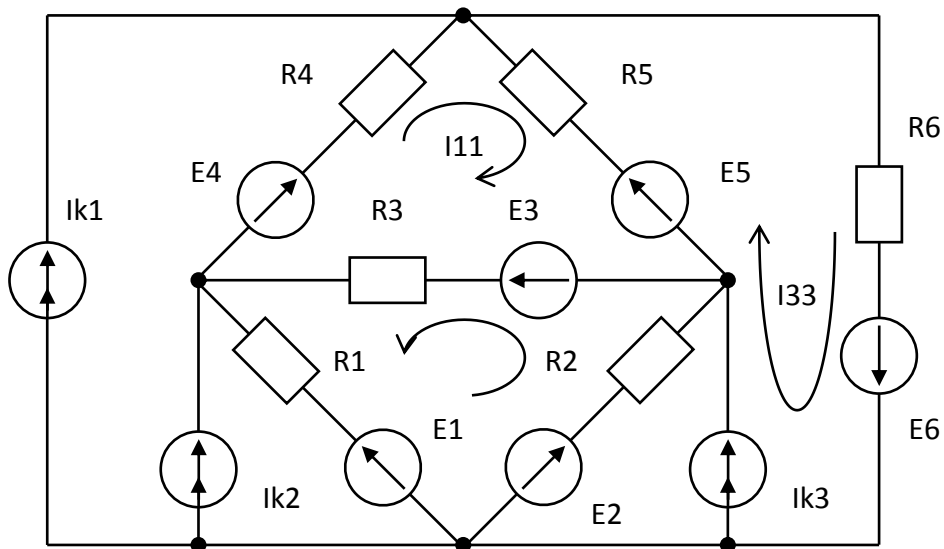
### 2.1 Расчёт линейных электрических цепей постоянного тока

#### Решение:

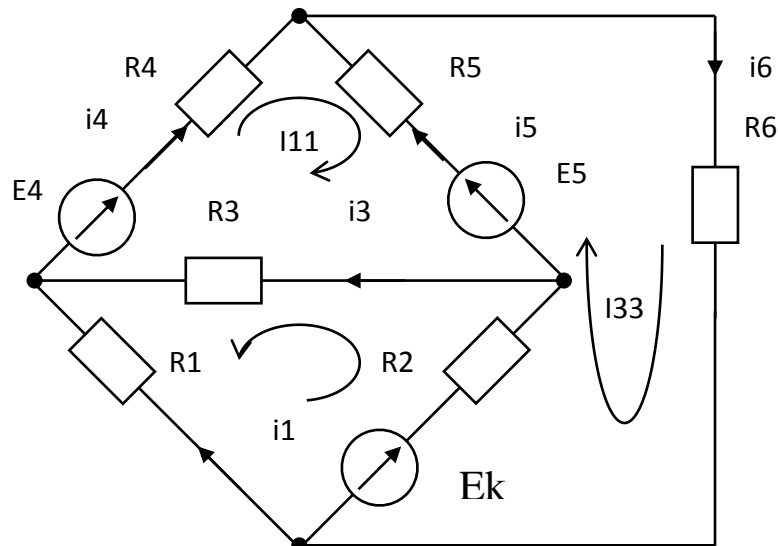
$R_1=10$	$E_1=0$	$I_{k1}=0$
$R_2=70$	$E_2=0$	$I_{k2}=0$
$R_3=40$	$E_3=0$	$I_{k3}=-7$
$R_4=90$	$E_4=-150$	
$R_5=80$	$E_5=450$	
$R_6=60$	$E_6=0$	

#### Метод контурных токов

Произвольно выбираем направление контурных токов



Перед началом расчёта упростим схему в соответствии с заданием и источник тока (в нашем случае  $I_{k3}$ ) заменим эквивалентной Э.Д.С., которую удобнее внести во вторую ветвь. Выбираем произвольно направление токов в ветвях. Получим следующую схему:



$$\text{Э.д.с. } E_{k2} = I_{k3} * R_2 = (-7) * 70 = -490 \text{ В}$$

Вычислим контурные и взаимные сопротивления, причём контурные сопротивления всегда со знаком "плюс", а взаимные со знаком "плюс", если направление контурных токов протекающих через взаимное сопротивление совпадает и знак "минус" – если не совпадает.

$$R_{11} = R_3 + R_4 + R_5 = 40 + 90 + 80 = 210 \text{ Ом}$$

$$R_{22} = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 70 + 40 = 120 \text{ Ом}$$

$$R_{33} = R_2 + R_5 + R_6 = 70 + 80 + 60 = 210 \text{ Ом}$$

$$R_{12} = R_{21} = +R_3 = 40 \text{ Ом}$$

$$R_{13} = R_{31} = -R_5 = -80 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = R_{32} = +R_2 = 70 \text{ Ом}$$

Вычисляем контурные эдс, причём если направление эдс совпадает с направлением контурного тока, то эдс берётся со знаком "плюс", если не совпадает, то – "минус".

$$E_{11} = E_4 - E_5 = -150 - 450 = -600 \text{ В,}$$

$$E_{22} = E_{k2} = -490 \text{ В,}$$

$$E_{33} = E_{k2} + E_5 = -490 + 450 = -40 \text{ В.}$$

Составляем матрицы сопротивлений:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 210 & 40 & -80 \\ 40 & 120 & 70 \\ -80 & 70 & 210 \end{vmatrix} = 2711000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_{11} & R_{12} & R_{13} \\ E_{22} & R_{22} & R_{23} \\ E_{33} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -600 & 40 & -80 \\ -490 & 120 & 70 \\ -40 & 70 & 210 \end{vmatrix} = -5816000$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} R_{11} & E_{11} & R_{13} \\ R_{21} & E_{22} & R_{23} \\ R_{31} & E_{33} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 210 & -600 & -80 \\ 40 & -490 & 70 \\ -80 & -40 & 210 \end{vmatrix} = -9357000$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & E_{11} \\ R_{21} & R_{22} & E_{22} \\ R_{31} & R_{32} & E_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 210 & 40 & -600 \\ 40 & 120 & -490 \\ -80 & 70 & -40 \end{vmatrix} = 387000$$



Контурные токи будут равны:

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-5816000}{2711000} = -2.145 \text{ A},$$

$$I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-9357000}{2711000} = -3.453 \text{ A},$$

$$I_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{387000}{2711000} = 0.143 \text{ A},$$

Находим истинные токи:

$$I_1 = -I_{22} = 3.453 \text{ A},$$

$$I_2 = I_{22} + I_{33} - I_{k2} = -3.45 + 0.143 + 7 = 3.696 \text{ A},$$

$$I_3 = I_{11} + I_{22} = -2.145 - 3.453 = -5.598 \text{ A},$$

$$I_4 = I_{11} = -2.145 \text{ A},$$

$$I_5 = -I_{11} + I_{33} = 2.145 + 0.143 = 2.288 \text{ A},$$

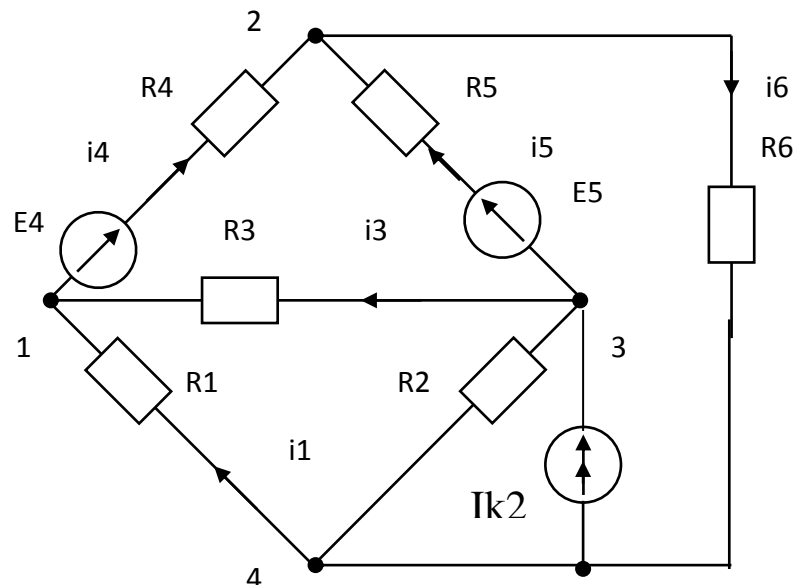
$$I_6 = I_{33} = 0.143 \text{ A}.$$

При нахождении истинных токов, если первоначально выбранное направление тока совпадает с направлением контурного тока, то контурный ток входит в уравнение со знаком "плюс", иначе – со знаком "минус".

### Метод узловых потенциалов

При расчёте схемы методом узловых потенциалов, источники тока можно не преобразовывать в эквивалентные источники напряжения.

Все узлы произвольно нумеруем, потенциал одного любого узла принимаем равным нулю. (Например: четвёртого).



Для составления матрицы узловых проводимостей, сначала вычислим узловые проводимости и токи, а также взаимные проводимости.

$$Y_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{40} + \frac{1}{90} = 0.136 \text{ мСм}$$

$$Y_{22} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{90} + \frac{1}{80} + \frac{1}{60} = 0.0403 \text{ мСм}$$

$$Y_{33} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{70} + \frac{1}{40} + \frac{1}{80} = 0.0518 \text{ мСм}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -\frac{1}{R_4} = -\frac{1}{90} = -0.0111 \text{ мСм}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -\frac{1}{R_3} = -\frac{1}{40} = -0.025 \text{ мСм}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -\frac{1}{R_5} = -\frac{1}{80} = -0.0125 \text{ мСм}$$

Узловые проводимости равные сумме всех проводимостей подключенных к узлу берутся всегда со знаком "плюс", а взаимные проводимости равные сумме всех проводимостей подключенных между узлами – со знаком "минус".

Узловые токи берутся со знаком "плюс", если ток или эдс направлены в узел и – со знаком "минус", если направлены от узла, они равны:

$$I_{c1} = \frac{-E_4}{R_4} = \frac{150}{90} = 1.667 \text{ А,}$$

$$I_{c2} = \frac{E_4}{R_4} + \frac{E_5}{R_5} = \frac{-150}{90} + \frac{450}{80} = 3.958 \text{ А,}$$

$$I_{c3} = \frac{-E_5}{R_5} + I_{k2} = \frac{-450}{80} - 7 = -12.625 \text{ А}$$

Составляем матрицы:

$$\Delta = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.136 & -0.0111 & -0.025 \\ -0.0111 & 0.0403 & -0.0125 \\ -0.025 & -0.0125 & 0.0518 \end{vmatrix} = 0.000224$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} I_{c1} & Y_{12} & Y_{13} \\ I_{c2} & Y_{22} & Y_{23} \\ I_{c3} & Y_{32} & Y_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1.667 & -0.0111 & -0.025 \\ 3.958 & 0.0403 & -0.0125 \\ -12.625 & -0.0125 & 0.0518 \end{vmatrix} = -0.00774$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} Y_{11} & I_{c1} & Y_{13} \\ Y_{21} & I_{c2} & Y_{23} \\ Y_{31} & I_{c3} & Y_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.136 & 1.667 & -0.025 \\ -0.0111 & 3.958 & -0.0125 \\ -0.025 & -12.625 & 0.0518 \end{vmatrix} = 0.0019249$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & I_{c1} \\ Y_{21} & Y_{22} & I_{c2} \\ Y_{31} & Y_{32} & I_{c3} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.136 & -0.0111 & 1.667 \\ -0.0111 & 0.0403 & 3.958 \\ -0.025 & -0.0125 & -12.625 \end{vmatrix} = -0.0579$$

$$\varphi_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0.00774}{0.000224} = -34.53 \text{ В},$$

$$\varphi_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0.0019249}{0.000224} = 8.52 \text{ В},$$

$$\varphi_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-0.0579}{0.000224} = -258.44 \text{ В}$$

Определяем истинные токи, воспользовавшись законом Ома для участка цепи:

$$I_1 = \frac{\varphi_4 - \varphi_1}{R_1} = \frac{0 + 34.53}{10} = 3.453 \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{\varphi_4 - \varphi_3}{R_2} = \frac{0 + 258.32}{70} = 3.696 \text{ A},$$

$$I_3 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{R_3} = \frac{-258.32 + 34.53}{40} = -5.598 \text{ A},$$

$$I_4 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_4}{R_4} = \frac{-34.53 - 8.587 - 150}{90} = -2.145 \text{ A},$$

$$I_5 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2 + E_5}{R_5} = \frac{-258.32 - 8.587 + 450}{80} = 2.288 \text{ A},$$

$$I_6 = \frac{\varphi_2 - \varphi_4}{R_6} = \frac{8.587 - 0}{60} = 0.143 \text{ A},$$

При расчёте двумя методами получили одинаковые токи, что говорит о правильности расчёта, дополнительно убедиться в этом, можно проверкой баланса мощностей.

Потребляемая мощность равна:

$$\begin{aligned} P_{\text{потр}} &= I_1^2 \cdot R_1 + I_1^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 = \\ &= 3.45^2 + 3.69^2 + 5.6^2 + 2.15^2 + 2.29^2 + 0.14^2 = 3160.16 \text{ Вт} \end{aligned}$$

При расчёте мощности источников учитывают направления токов через источник напряжения и направление самого источника напряжения, если они совпадают, то источник напряжения отдаёт энергию и его мощность, т.е. произведение  $U \cdot I$  берётся со знаком "плюс", иначе – со знаком "минус", это значит, что источник напряжения потребляет энергию.

При определении мощности источника тока, находят напряжение приложенное к нему. В нашем случае напряжение приложенное к источнику тока  $I_{k2}$  равно потенциалу  $\varphi_3$ . Источники эдс  $E_4$  и  $E_5$  отдают энергию, так как направление токов через них и направления их эдс совпадают.

Мощность источников энергии равна:

$$P_{\text{ист}} = E_4 \cdot I_4 + E_5 \cdot I_5 + I_{k2} \cdot \varphi_3 = 150 \cdot 2.145 + 450 \cdot 2.288 + 7 \cdot 258.32 = 3160 \text{ Вт}$$

## Потенциальная диаграмма

Потенциальную диаграмму построим для замкнутого контура, включающего 1,4,5 и 2 ветви. Обход начнём из 4 узла, по часовой стрелке.

Потенциал 4 узла примем равным нулю и выразим потенциал 1 узла относительно 4:

$$\Phi_1 = \Phi_4 - I_1 * R_1 = 0 - 3.453 * 10 = -34.53 \text{ В}$$

Выразим потенциал точки а относительно 1 узла:

$$\Phi_A = \Phi_1 + E_4 = -34.53 + (-150) = -184.53 \text{ В}$$

Выразим потенциал 2 узла относительно точки а:

$$\Phi_2 = \Phi_A - I_4 * R_4 = -184.53 - (-2.145) * 90 = 8.52 \text{ В}$$

Выразим потенциал точки b относительно 2 узла:

$$\Phi_b = \Phi_2 + I_5 * R_5 = 8.52 + 2.288 * 80 = 191.56 \text{ В}$$

Выразим потенциал 3 узла относительно точки b:

$$\Phi_3 = \Phi_b - E_5 = 191.56 - 450 = -258.44 \text{ В}$$

Выразим потенциал 4 узла относительно 3 узла:

$$\Phi_4 = \Phi_3 - I_2 * R_2 = -258.44 - 3.696 * 70 = 0 \text{ В}$$

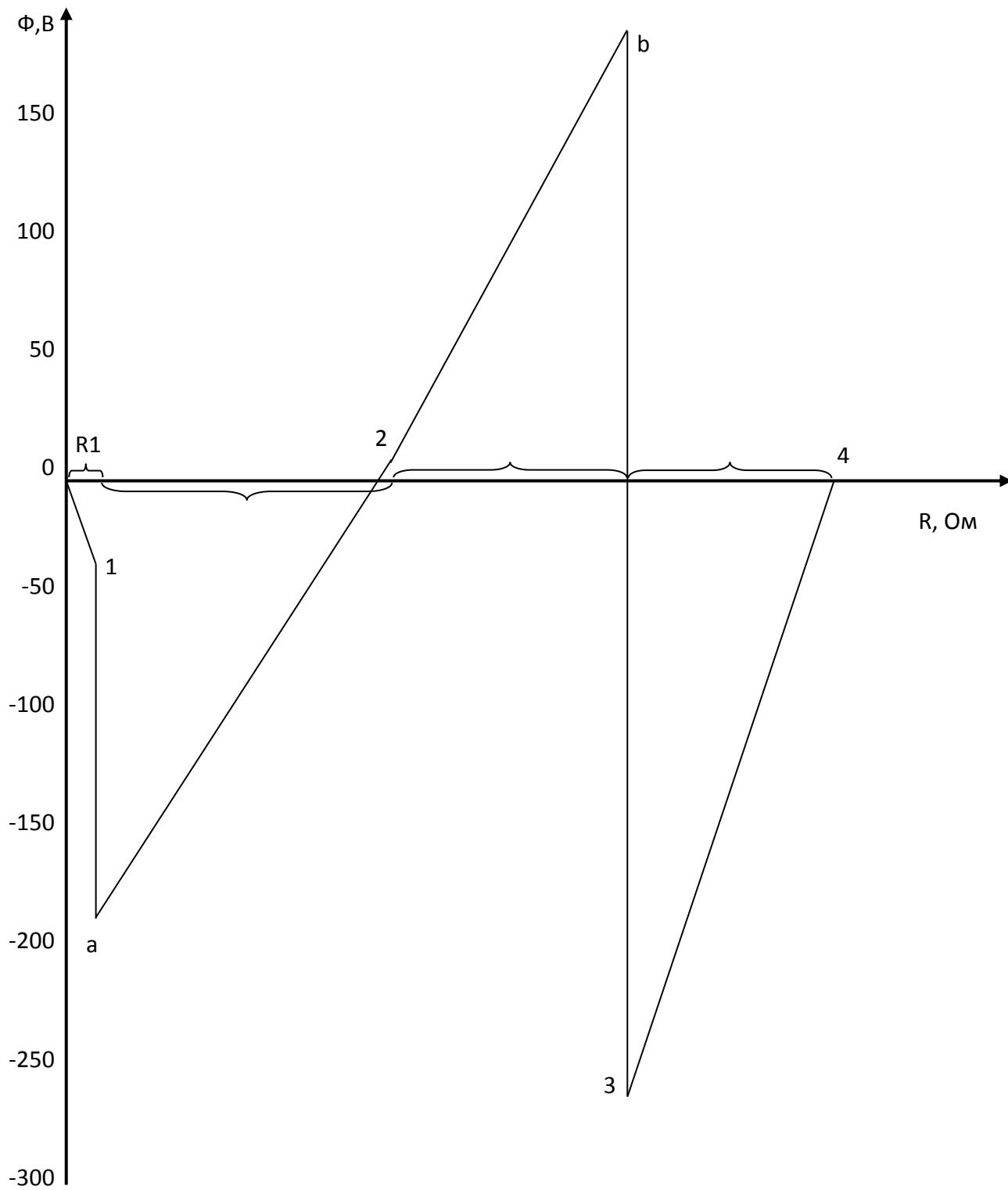
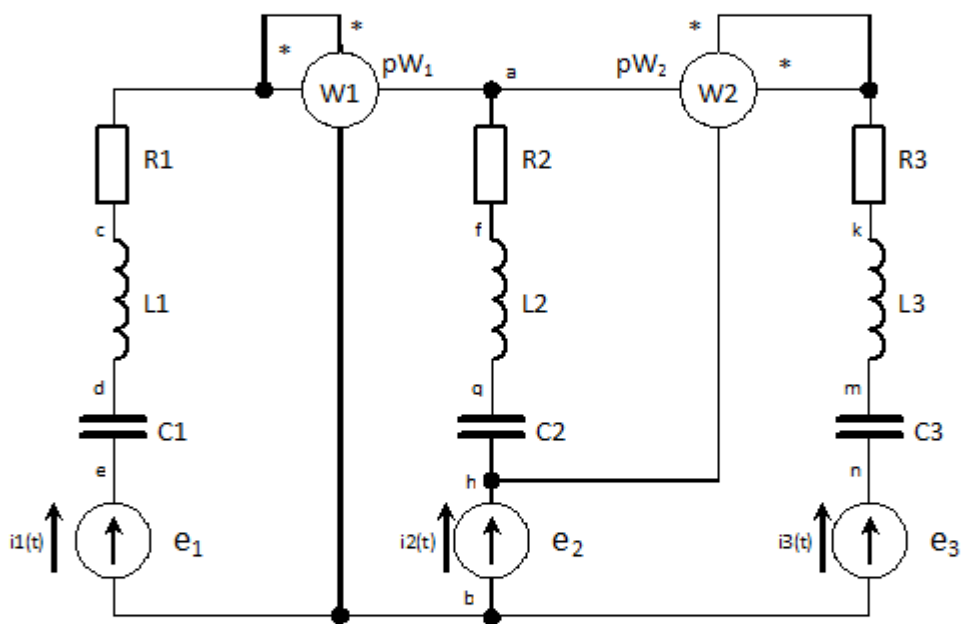


Рисунок 2 - Потенциальная диаграмма

## 2.2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

### Задание

1. Определить комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись одним из методов расчета линейных электрических цепей.
2. Определить показания ваттметров.
3. Составить баланс активных и реактивных мощностей.
4. Построить в масштабе топографическую диаграмму напряжений, совместив ее с векторной диаграммой токов.
5. Записать в общем виде уравнения Кирхгофа в дифференциальной и комплексной формах, полагая, что между двумя индуктивностями есть магнитная связь.



$$R1 := 0$$

$$R2 := 41$$

$$R3 := 52$$

$$L1 := 78 \cdot 10^{-3}$$

$$L2 := 0$$

$$L3 := 22 \cdot 10^{-3}$$

$$C1 := 0$$

$$C2 := 63 \cdot 10^{-6}$$

$$C3 := 70 \cdot 10^{-6}$$

$$E1m := 0$$

$$E2m := 93$$

$$E3m := 36$$

$$\phi1 := 0$$

$$\phi2 := 132$$

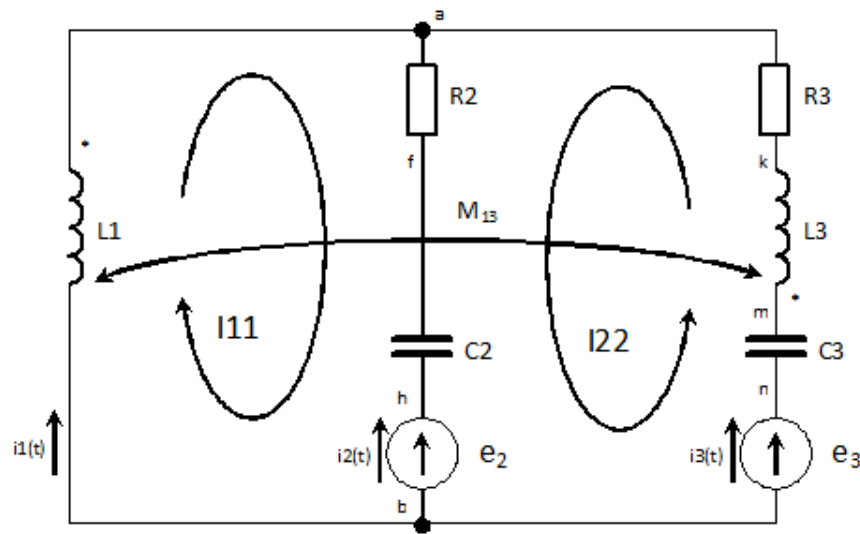
$$\phi3 := 90$$

$$f := 50$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega = 314.159$$

Перед началом расчёта, упростим схему в соответствии с заданием, выберем направление токов и пронумеруем узлы и точки схемы.



В комплексной форме э.д.с. будут равны:

$$E2 := E2m \cdot \cos(\phi2 \cdot \text{deg}) + i \cdot E2m \cdot \sin(\phi2 \cdot \text{deg})$$

$$E2 = -62.229 + 69.112i \quad \text{В}$$

$$E3 := E3m \cdot \cos(\phi3 \cdot \text{deg}) + i \cdot E3m \cdot \sin(\phi3 \cdot \text{deg})$$

$$E3 = 36i \quad \text{В}$$

Полные сопротивления ветвей:

$$Z1 := i \cdot \omega \cdot L1$$

$$Z1 = 24.504i \quad \text{Ом}$$

$$|Z1| = 24.504 \quad \text{Ом} \quad \frac{\arg(Z1) \cdot 180}{\pi} = 90$$

$$Z2 := R2 - i \cdot \frac{1}{\omega \cdot C2}$$

$$Z2 = 41 - 50.525i \quad \text{Ом}$$

$$|Z2| = 65.068 \quad \text{Ом} \quad \frac{\arg(Z2) \cdot 180}{\pi} = -50.942$$

$$Z3 := R3 + i \cdot \omega \cdot L3 - i \cdot \frac{1}{\omega \cdot C3}$$

$$Z3 = 52 - 38.56 \text{ Ом}$$

$$|Z3| = 64.738 \quad \text{Ом} \quad \frac{\arg(Z3) \cdot 180}{\pi} = -36.559$$



## Метод узловых потенциалов

Токи рассчитаем методом двух узлов, предварительно выберем положительное направление токов от узла b к узлу a и потенциал узла b примем равным нулю.

Рассчитаем полную проводимость узла a:

$$Y_a := \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \quad Y_a = 0.022 - 0.02i \quad |Y_a| = 0.03 \quad \text{Cm} \quad \frac{\arg(Y_a) \cdot 180}{\pi} = -41.687$$

Рассчитаем узловой ток:

$$I_a := \frac{E_2}{Z_2} + \frac{E_3}{Z_3} \quad I_a = -1.759 + 0.37i \text{ A} \quad |I_a| = 1.798 \quad \text{A} \quad \frac{\arg(I_a) \cdot 180}{\pi} = 168.015$$

Потенциал узла a равен:

$$\phi_a := \frac{I_a}{Y_a} \quad \phi_a = -52.789 - 30.113i \text{ В} \quad |\phi_a| = 60.774 \quad \text{В} \quad \frac{\arg(\phi_a) \cdot 180}{\pi} = -150.298$$

Вычислим токи:

$$I_1 := \frac{-\phi_a}{Z_1} \quad I_1 = 1.229 - 2.154i \quad \text{A} \quad |I_1| = 2.48 \quad \text{A} \quad \frac{\arg(I_1) \cdot 180}{\pi} = -60.298$$

$$I_2 := \frac{-\phi_a + E_2}{Z_2} \quad I_2 = -1.276 + 0.848i \quad \text{A} \quad |I_2| = 1.532 \quad \text{A} \quad \frac{\arg(I_2) \cdot 180}{\pi} = 146.376$$

$$I_3 := \frac{-\phi_a + E_3}{Z_3} \quad I_3 = 0.047 + 1.306i \quad \text{A} \quad |I_3| = 1.307 \quad \text{A} \quad \frac{\arg(I_3) \cdot 180}{\pi} = 87.953$$

### Баланс мощностей и показание ваттметров:

Определяем значения комплексно-сопряжённых токов

$$\begin{aligned} I_{1c} &:= \text{Re}(I_1) - i \cdot \text{Im}(I_1) & I_{2c} &:= \text{Re}(I_2) - i \cdot \text{Im}(I_2) & I_{3c} &:= \text{Re}(I_3) - i \cdot \text{Im}(I_3) \\ I_{1c} &= 1.229 + 2.154i \quad \text{A} & I_{2c} &= -1.276 - 0.848i \quad \text{A} & I_{3c} &= 0.047 - 1.306i \quad \text{A} \end{aligned}$$

Полная мощность источников питания

$$S_{\text{ист}} := E_2 \cdot I_{2c} + E_3 \cdot I_{3c} \quad S_{\text{ист}} = 185.017 - 33.692i \quad \text{ВА}$$

Активная и реактивная потребляемая мощности

$$P_{\text{потр}} := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 \quad P_{\text{потр}} = 185.017 \quad \text{Вт}$$

$$Q_{\text{потр}} := (|I_1|)^2 \cdot \text{Im}(Z_1) + (|I_2|)^2 \cdot \text{Im}(Z_2) + (|I_3|)^2 \cdot \text{Im}(Z_3) \quad Q_{\text{потр}} = -33.692 \quad \text{ВАр}$$

Показания ваттметров

$$P_1 := \text{Re}(\phi_a \cdot I_{1c}) \quad P_1 = 0 \quad \text{Вт} \quad P_2 := \text{Re}[(\phi_a - E_2) \cdot (I_{3c})] \quad P_2 = -129.15 \quad \text{Вт}$$

## Топографическая диаграмма

Строим топографическую диаграмму падений напряжений.  
Рассчитаем потенциалы точек f-n приняв потенциал точки b=0.

Потенциал точки b выраженный через потенциал точки a:

$$\phi_b := \phi_a + I1 \cdot i \cdot \omega \cdot L1 \quad \phi_b = 3.553i \times 10^{-15} \text{ В}$$

Потенциал точки f выраженный через потенциал точки a:

$$\phi_f := \phi_a + I2 \cdot R2 \quad \phi_f = -105.086 + 4.664i \text{ В}$$

Потенциал точки h выраженный через потенциал точки f:

$$\phi_h := \phi_f + I2 \cdot \frac{1}{i\omega \cdot C2} \quad \phi_h = -62.229 + 69.112i \text{ В}$$

u

Потенциал точки b выраженный через потенциал точки h:

$$\phi_b := \phi_h - E2 \quad \phi_b = 0 \text{ В}$$

Потенциал точки k выраженный через потенциал точки a:

$$\phi_k := \phi_a + I3 \cdot R3 \quad \phi_k = -50.362 + 37.8i \text{ В}$$

Потенциал точки m выраженный через потенциал точки k:

$$\phi_m := \phi_k + I3 \cdot i \cdot \omega \cdot L3 \quad \phi_m = -59.388 + 38.122i \text{ В}$$

u

Потенциал точки n выраженный через потенциал точки m:

$$\phi_n := \phi_m + I3 \cdot \frac{1}{i\omega \cdot C3} \quad \phi_n = 36i \text{ В}$$

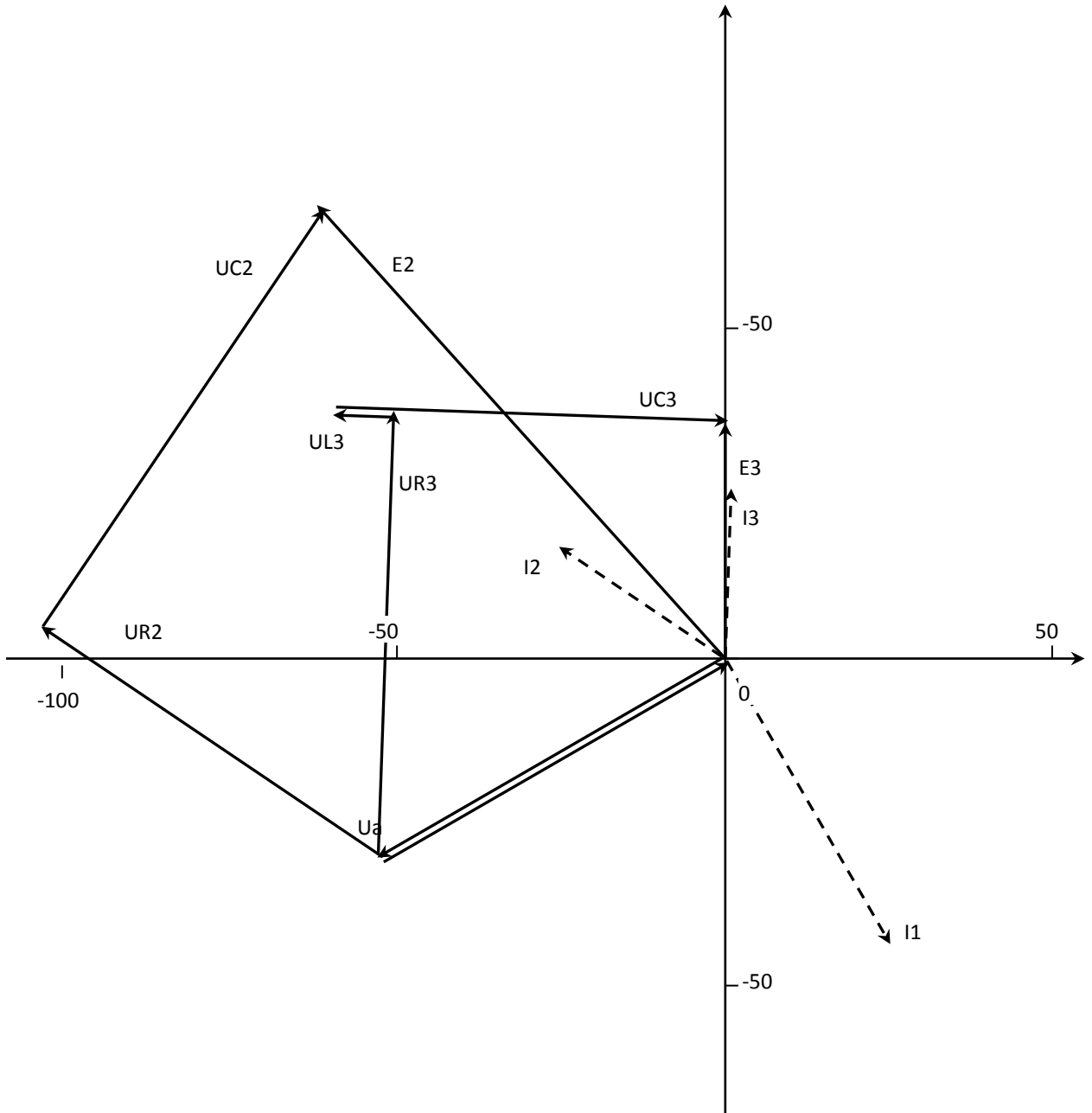
u

Потенциал точки b выраженный через потенциал точки n:

$$\phi_b := \phi_n - E3 \quad \phi_b = -2.204 \times 10^{-15} \text{ В}$$

u

Масштаб:  $10V=1\text{см}$ ,  $0,5A=1\text{см}$



Топографическая диаграмма падений напряжений  
и векторная диаграмма токов

## Уравнения Кирхгофа при магнитной связи между двумя индуктивностями.

в интегро-дифференциальной форме:

$$i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) = 0$$

$$L_1 \frac{di_1}{dt} - M_{13} \frac{di_3}{dt} - R_2 \cdot i_2(t) - \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt = -e_2(t)$$

$$R_2 \cdot i_2(t) + \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt - R_3 \cdot i_3(t) - L_3 \frac{di_3}{dt} - M_{13} \frac{di_1}{dt} - \frac{1}{C_3} \int i_3(t) dt = e_2(t) - e_3(t)$$

в комплексной форме:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$I_1 \cdot j\omega L_1 - j\omega M_{13} \cdot I_3 - I_2 \cdot R_2 - I_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_2} = -E_2$$

$$I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_2} - I_3 \cdot R_3 - I_3 \cdot j\omega L_3 - j\omega M_{13} \cdot I_1 - I_3 \cdot \frac{1}{j\omega C_3} = E_2 - E_3$$

## Список использованных источников

1. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]: учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов.- 11-е изд., переаб. и доп.. - Москва: Юрайт, 2013. - 701 с.- (Бакалавр. Углубленный курс). - ISBN 978-5-9916-2562-3.
2. Рекус, Г. Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г. Г. Рекус. - Высшая школа, Абрис, 2012.– Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117503>
3. Пискунова, Ж. Г. Методические указания для самостоятельной работы и контрольные вопросы по курсу "Теоретические основы электротехники" [Текст] / Ж. Г. Пискунова, В. Н. Трубникова. - Ч. 1. - Оренбург : ОГУ, 2000. - 32 с.– Режим доступа: <http://artlib.osu.ru>
4. Бутырин П.А. Основы электротехники: учебник для студентов средних и высших учебных заведений профессионального образования по направлениям электротехники и электроэнергетики [Электронный ресурс] / П.А. Бутырин. О.В. Толчеев. Ф.Н. Шакирзянов; под ред. П.А. Бутырина. — М.: Издательский дом МЭИ. 2014. — 360 с.: ил. Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/>
5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники [Электронный ресурс]: в 2 т. / П.А. Бутырин, Л.В. Алексейчик, С.Л. Важнов и др.; под ред. чл.-корр. РАН П.А. Бутырина. — М.: Издательский дом МЭИ. Том 1. Электрические и магнитные цепи с сосредоточенными параметрами. — 2012. — 595 с.; ил. Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/>
6. Сборник задач по теоретическим основам электротехники [Электронный ресурс]: в 2 т. / П.А. Бутырин, Л.В. Алексейчик, С.А. Важнов и др.; под ред. чл.-корр. РАН П.А. Бутырина. — М.: Издательский дом МЭИ. Том 2. Электрические цепи с распределенными параметрами. Электромагнитное поле. — 2012. — 571 с.: ил. Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/>